

REPORT
OF THE REVIEW COMMITTEE
FOR
DEPARTMENT OF PHYSICS
AND
THE RESEARCH CENTER FOR THE EARLY UNIVERSE

SCHOOL OF SCIENCE
THE UNIVERSITY OF TOKYO

東京大学理学部・理学系研究科

物理学教室 および ビッグバン宇宙国際研究センター

に関する

外部評価委員会報告書

Committee members 委員会メンバー

Jun Akimitsu	秋光 純
Tsuneya Ando	安藤恒也
Gordon Baym	
Makoto Kobayashi	小林 誠 (Chair 委員長)
Yoshiki Kuramoto	蔵本由紀
Shoken Miyama	観山正見
Yukako Uchinaga	内永ゆか子
Ken-ichi Ueda	植田憲一
Motohiko Yoshimura	吉村太彦

January, 2013

平成 25 年 1 月

TABLE OF CONTENTS 目次

REPORT OF THE REVIEW COMMITTEE FOR DEPARTMENT OF PHYSICS AND THE RESEARCH CENTER FOR THE EARLY UNIVERSE SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

THE DEPARTMENT AS A WHOLE

1. Education	1
2. Research and Hiring Policy	4
3. Department Management	5

INDIVIDUAL RESEARCH FIELDS

1. General Physics and Biophysics	7
2. Condensed Matter Physics	10
3. Nuclear and Particle Physics	13
4. Cosmology and Astrophysics	17

東京大学理学部・理学系研究科物理学教室および
ビッグバン宇宙国際研究センター
に関する外部評価委員会報告書（英文報告書の対訳は物理学教室による）

教室全体について

1. 教育について	21
2. 研究および人事方針について	23
3. 教室運営について	24

個別研究分野について

1. 一般物理学および生物物理学	26
2. 物性物理学	28
3. 原子核物理学および素粒子物理学	30
4. 宇宙論・宇宙物理学	33

THE DEPARTMENT AS A WHOLE

1. Education

Curriculum

The curricula of the undergraduate and graduate courses are basically extensive and appear adequate. Nonetheless, the Committee feels it desirable to monitor and improve the curricula, as education in physics evolves. It should be mandatory for students to develop a basic understanding of the material of the core courses before they make a final decision on their career subject. One suggestion is to teach basic core physics courses more than once, first at an elementary level and then at various advanced levels; the first level of lectures for undergraduates and the advanced ones for graduate students during their master's course period. These core courses should include classical mechanics with fluid dynamics, quantum mechanics, classical electrodynamics with optics, and classical and quantum statistical mechanics. The emphasis in the core courses should be on basic principles and techniques, with only limited applications to various specialized fields, as needed to illustrate basic principles. As well, advanced lectures focusing on particular fields of physics such as condensed matter, nuclear and particle physics, plasmas, and biophysics, should be offered for students to take at appropriate times in their education

In the graduate course curriculum, introductory lecture courses are given for graduate students and fourth year students to take in common. This approach provides a clever way to fill any gaps between Todai graduates and those from other universities in their preparation, arising from the difference of courses taught at the undergraduate level.

The Committee is concerned that while a large variety of lectures are offered, students are inclined to take only courses that fulfill their requirements for graduation. Students should be strongly encouraged to attend lectures with the aim of broadening their scope. Such broadening should be an aim in improving the curriculum.

Interactions of faculty and students

We encourage more frequent scientific interaction between students and faculty at all times in the education of the students, from taking courses to carrying out research. As an example of the need for improvement, one graduate student, doing research away from the Department, pointed out a lack of communication on the research with the student's thesis adviser. In addition, students, during discussions that the review committee held with them, remarked that they are reluctant to ask questions during lectures. One reason for this reluctance is that they do not want to disturb the lecturer by raising questions. Since the Committee believes that all professors welcome questions, this misunderstanding is unfortunate; we encourage efforts by the lecturers, as well as students, to create an interactive atmosphere in lectures.

Internationalization

The Committee appreciates the many efforts already being carried out towards internationalization in the Department. A number of students have made visits abroad under the departmental Systematic Dispatch of Young Researchers program. While international visits to attend conferences and schools are understandably brief, the length of stay abroad may be too short in other cases to be effective, a point we feel in need of assessment.

At present, lectures in the graduate course are given in English only when one or more foreign students are present. We recommend that the Department seriously consider the possibility of giving all graduate course lectures in English. Besides contributing to the internationalization of the Department, this would provide training for students to develop their ability to think and express themselves in English.

The present rate of acceptance of foreign students is inadequate. Efforts to recruit foreign students are essential and critical for the future of the Department, since they are, as the Department should recognize, seeds of future research networks in the world.

Other issues

The Committee discussed the relation of the master and doctoral courses. The current system, *zenki-kouki-sei*, has a clear discontinuity between the two courses. For students aiming at a doctoral degree, the submission of a master's thesis, while now mandatory, is not necessarily important in their research careers. An alternative would be to require a process of qualification for students starting research on a doctoral thesis. Within the five-year-system, *5-nen-ikkkan-sei*, a more flexible scheme would be possible.

The previous report pointed out problems caused by requiring students to decide their fields of research in graduate school at the time of the entrance examination. While the Department has not changed this system, it does help students decide their fields by preparing a guidance symposium for the entrance examination and also preparing guidance for assignment of fourth year students to laboratories. We recommend making further efforts to provide information to the students through, for example, improvement of the home pages of each of the research groups. A serious concern of the Committee on this issue is, however, that students are channeled into research groups before they arrive on the campus and before they can have a chance to find the research area that will suit them best in the long run. Furthermore, students, once in the Department, may not be allowed to change or even explore other research areas. We are afraid that this circumstance, together with the aforementioned attitudes of students towards lectures, produces students with too narrow a scope. In this connection, the Committee looks favorably on the development of the ALPS program, with the expectation that it points in the right direction.

The Committee is impressed by the preparation activities for the May Festival, in which a good number of the third year students participate. It is a good tradition that they choose advanced subjects for presentation and study them on their own initiative.

An evaluation of teaching by students is useful if properly used; we find, however, that the questionnaire for parents of undergraduate and graduate students is unnecessary, and could even have a negative effect on students developing independence.

2. Research and Hiring Policy

The Committee understands that a definite research unit consists of two faculty members, one senior professor, either full or associate, and one assistant professor, relatively junior. This rule seems to be strictly obeyed. A bad effect of this practice is that there is very little, albeit non-zero, research collaboration between different units. The Committee recommends that the rules for setting up of research units should allow greater flexibility. In certain areas of physics, e.g., high energy physics, a much larger unit of faculty members is more effective, and is a common practice elsewhere.

Furthermore, the current system provides little flexibility, particularly in experiment, for junior faculty to set up independent and new research programs. An instructive example is the field of cold atom physics, in which relatively younger people have played a large and independent role in driving the field to the international forefront.

The regularly held lunch talk is a very good way to enhance mutual communication on scientific activities in the Department as a whole. This should be continued in further depth. Holding such discussion meetings in smaller units is also highly encouraged, for instance a joint meeting among particle, nuclear and astrophysics groups. Such meetings would enhance the chances of research collaboration among different groups, including between experimentalists and theorists.

As mentioned in the previous report, the Department faces the difficulty of holding an open search process when wanting to promote an Associate Professor belonging to the Department. Although this problem is more or less shared by research institutions that adopt a strict open recruit system, *koubo-sei*, the Committee understands that the problem is serious for the Department. It is recommended that the system should be reviewed constantly.

The selection of Assistant Professors should be done by the Department as a whole based on a sense of the long range directions that the Department should be taking, and not as at present by the Professor or Associate Professor in question whose interest is in furthering a particular research

program. In experiment, Assistant Professors should be given all needed support, both space and financial, to set up their own independent research laboratories.

We recommend that the Department look more positively towards hiring foreign professors and associate professors through, e.g., international advertisements and contacts at a personal level.

Female faculty members in physics are nearly absent. It is desirable for the Department to develop clear strategies to increase the number of female faculty members as well as female students.

Another concern is that the Todai physics faculty tends to be very inbred, with Professors in large measure having been educated at Todai. Such a pattern does not maximize flow of seminal ideas and growth of new areas. Inbreeding in fact starts at the student level, with most graduate students at Todai having been Todai undergraduates.

3. Department Management

The current system does not readily allow rapid faculty growth in areas that will be important in the future, but encourages only adiabatic change. (Hiring of two quantum information theorists after the previous review was a striking and successful exception.) The Committee recommends that the faculty should strengthen communication among areas of physics, and think formally (e.g., through writing long range plans) about the directions that future research should be heading.

The basic structure of the budget of the Department has not changed from the previous report. However, the management budget, *uneihi*, is gradually decreasing. A major part of the budget for research comes from external funds. The increased dependence on competitive funding is causing faculty members to spend a lot of their valuable research time on funding related paper work, with, we are afraid, a deleterious effect on the scientific productivity of the Department. It is conceivable to hire staff who could relieve certain administrative burdens currently falling on the faculty.

As global competition increases more and more among universities and research institutes, the Department has to maintain its world class level with continuous and intensive improvement. Towards this aim, it is desirable for the Department to implement measurement systems to assess and track continuously the quality, competitiveness, effectiveness and progress of the Department's actions.

The current floor space is only 65% of what has been officially allocated to the Department. We recommend expanding the space at least to the allocated level. Such expansion would diminish pressure on finding new lab space for faculty. Another advantage of increased space would be to allow undergraduate students to have the opportunity to spontaneously hold joint study sessions, brainstorming and debate, in addition to planned seminar and lectures; the current limited office space unfortunately does not allow such spontaneous meetings.

We realize that Todai as a whole has made considerable efforts to accept students with physical handicaps. The Department in particular should continue efforts to provide a maximally conducive environment in which they can study.

Despite of the excellence of the Department's research activities and outcomes, in addition to its notable leadership in several global projects, the Department needs to make a stronger effort to have its achievements recognized and appreciated by the general public, industry, and other communities. Towards this end, the Department needs to put a strong focus on communication with clear explanation and introduction to make its value known; such communication is a vital step in enhancing support by the Government, by industry, and by the public.

Finally, the Committee encourages the Department to be able to respond flexibly to growing and evolving areas of new physics, even at the cost of diminished support for certain current areas. Such response is important for the Physics Department of Todai to maintain its current leadership and prestige into the future.

INDIVIDUAL RESEARCH FIELDS

1. General Physics and Biophysics

General Physics

General physics, loosely defined to cover diverse areas outside the major branches of condensed matter, particle and nuclear physics, and astrophysics, consists of two theoretical groups, led by Professor M. Ueda and Associate Professor M. Muraio, and four experimental groups, led by Professors M. Gonokami, Y. Takase and M. Sano, and Associate Professor H. Sakai.

Ueda works on fundamental aspects of physics in ultracold gases and information thermodynamics. His theoretical work on Bose-Einstein condensation (BEC) dynamics covers d-wave collapse of a BEC in Cr, the cyclic phase of a spin-2 BEC, and non-Abelian vortices. He has developed a method of symmetry classification of topological excitations and has predicted knot excitations. In information thermodynamics, he has solved the question of how much more work one can gain from a thermodynamic system beyond the conventional second law of thermodynamics limit by means of feedback control. His group has derived the minimum energy costs for measurements and erasures of information, and also has derived a generalized Jarzynski equality. They have also verified these predictions experimentally. Ueda is a theoretician and yet his leadership on the experimental works in ERATO program is excellent.

Gonokami has made and observed excitonic BEC of the 1s para-excitons in bulk Cu_2O crystals. Step-by-step he saw evidence for the threshold-like growth of a condensate at the critical density predicted for ideal bosons at sub-Kelvin temperatures. Such an exciton BEC is a unique system in which to explore the nature of condensation under open and dissipative circumstances. When Gonokami's group completes its ^3He - ^4He dilution refrigerator cooling system, studying the quantum fluid nature of exciton BECs will be a realistic target. He leads research programs, both within and outside of Todai, on advanced photonics. His efforts in introducing advanced photonic techniques into fundamental research are much appreciated.

Ueda and Gonokami are involved in collaborative theoretical and experimental studies on BEC related physics. Their leadership is felt not only in the Department, but also in the atomic, molecular and optical (AMO) and photonics communities. Their research activities and levels are at the top level of competition worldwide.

Murao has challenged fundamental limits of information processing with quantum information described by quantum mechanical states. She has proven that many distance-like entanglement measures coincide with the geometric measure of entanglement for quantum states with a given symmetry. She has discovered the minimum amount of entanglement required to perform a controlled unitary operation using local operations assisted by an entanglement resource. She has proposed a public quantum cryptographic protocol for authorized quantum computation. She also challenge to the quantum network coding for multiparty quantum computation. The mixture of quantum physics and communication technology, with a unique international atmosphere in her research, is very attractive to students and researchers.

Sakai has developed molecular orientation techniques to investigate ultrafast electronic stereodynamics of molecules. He has discovered quantum interference of de Broglie waves in the recombination process of high-order harmonic generation. This work, at an early stage of molecular orientation techniques, is pioneering. He has achieved the laser-field free molecular orientation by truncating an intense laser field, as well as all-optical orientation of OCS molecules with an intense nonresonant two-color laser field in the adiabatic regime. His concentration on molecular orientation physics and techniques is expected to be applied to other AMO areas, and extension to be encouraged.

Sano has beautifully proven experimentally the validity of a number of non-equilibrium universal laws which previously had only been predicted theoretically. The achievement of the first demonstration of the Szilard-type Maxwell's demon was initiated in the joint seminar among Sano's, Ueda's, and Higuchi's (biophysics) groups. This represents an example of a fruitful

outcome of collaboration across different research groups within the Department. Other works of this group include experimental realization of new types of non-equilibrium behavior such as laser-induced self-propulsion of colloidal particles.

Takase does pioneering plasma physics experiments for nuclear fusion, concentrating on plasmas at high beta (the ratio of plasma gas pressure to magnetic field pressure) using the compact spherical tokamak (ST) machines TST-2 and UTST at Kashiwa. Among other achievements, his group has demonstrated experimentally for the first time high power heating of an ST plasma, in the TST-2, by energy injection via electron Bernstein waves. Takase has in addition contributed to the program on advanced tokamak plasmas at the Japan Torus, JT-60U. His work is valuable for developing compact fusion power plants with high beta plasmas.

The policy of the Department in bringing together, under the term “general physics,” diverse areas of physics outside the standard major areas is worthy. This tradition enables the Department to be prepared for unforeseen tidal changes in physics caused, e.g., by the realization of unforeseen interconnections among seemingly unrelated fields, or the discovery of an epoch-making concept in a field hitherto regarded as peripheral to physics. Still members of the review committee raised the question of whether the naming “general physics” is appropriate to categorize the assembly of groups of diverse fields with such high potential power.

Biophysics

The biophysics group includes Professors Higuchi and Nose, the latter belonging also to Graduate School of Frontier Science. Higuchi is successfully applying his original techniques to track in real time a single motor protein molecule in vitro and vivo, while Nose is trying to reveal the operating principle of the spinal neural circuits associated with locomotion through the observation and control of neuronal activities of animals.

Since the studies of these two groups are both focused on dynamical aspects of life processes, their role of bridging biology with non-equilibrium physics is to be highly commended.

The report of the 2005 review made a detailed case for the Department to have a strong and growing presence in biophysics. We reaffirm the findings and recommendations of that review, and are pleased that the Department regards biophysics as an important branch of physics. The two present groups form an indispensable nucleus for future expansion of activities in biophysics.

2. Condensed Matter Physics

Condensed matter physics consists of twelve groups, eight experimental groups headed by Professors S. Uchida, A. Fujimori, H. Takagi, H. Fukuyama S. Hasegawa, Associate Professors T. Okamoto and R. Shimano, and Lecturer K. Taniguchi,; and four theoretical groups under Professors H. Aoki, S. Miyashita, M. Ogata, and S. Tsuneyuki.

Five of the experimental groups are involved in strongly correlated electron systems in a very broad sense:

Uchida concentrates on high temperature superconductors, Cu-oxides, Fe-pnictides and chalcogenides. He also continues the strong collaboration with the universities in Korea, Singapore, China, and the U.S. through the Global-COE program.

Fujimori has been widely interested in the strongly correlated electron systems (high temperature superconductors, and spintronic and magnetic materials) through angle resolved photoemission spectroscopy (ARPES). One of his outstanding contributions is the observation of Fermi arcs and pseudogaps in underdoped cuprate superconductors. His group has constructed a new ARPES beam line at the KEK Photon Factory.

Takagi studies the emergent phases of correlated electrons in the transition metal oxides, in particular, the quantum spin liquid state of geometrically frustrated systems as well as the physics of spin-orbit coupling induced

phases in 5-d systems, and similar systems.

Taniguchi has recently established the presence of chiral spin-order induced ferroelectricity, and discovered a giant magneto-electric effect through the control of spin chirality in MnWO_4 .

Shimano has covered a wide research area from semiconductor to strongly correlated electron systems utilizing laser and terahertz spectroscopy. His outstanding achievement is ultrafast photo-control of condensed matter systems via optical and terahertz pulses.

The other three professors mainly work on interfaces and electronic properties of solid surfaces also in a broad sense:

Fukuyama has focused on the quantum liquids and solids (two-dimensional ^3He and ^4He) and quasi-two-dimensional electron systems (graphite surfaces and graphene). Recently, his group has discovered a new liquid ground state of ^3He in two dimensions, which was not predicted theoretically.

Hasegawa works on surface states using electron diffraction, scanning tunneling microscopy, photoemission spectroscopy, and similar techniques. Recently, his group found the superconductivity of indium adsorbed at the Si (111) surface. His group is also developing the new techniques: a four-point probe method for transport measurements, a four-tip scanning tunneling microscope, and so on.

Okamoto has focused on two-dimensional electrons at cleaved semiconducting surfaces, strongly correlated two-dimensional electron systems, and nonequilibrium electrons in the quantum Hall regime. His group recently discovered superconductivity in Pb monolayer films on cleaved GaAs (semiconducting) surfaces.

The publications and other scientific activities, such as invited talks of major international conferences, leadership in various big scientific projects, etc., of the experimental groups indicate that they all maintain outstanding activity and top-level research at a world standard level.

The four condensed matter theory groups work on are diverse subjects of interests, covering a wide range of conventional solid state physics and statistical mechanics, without significant overlaps and without competing with each other. Some of the major subjects pursued by these four groups may be summarized as follows:

Aoki's group covers various "hot" topics such as high T_c cuprate superconductors, ion-based superconductors, and molecular superconductors, as well as nonequilibrium and topological properties of graphene and related systems. This research activity involves many collaborators in various countries.

Miyashita's group focuses on basic forefront topics in statistical mechanics such as new types of phase transitions and critical phenomena, nonequilibrium statistical mechanics, complex systems, etc., with international collaborators widely spread in the world.

The group of Ogata, using various many-body techniques such as variational Monte Carlo, studies physics related to the Mott transition and effects of carrier doping, physics likely highly relevant to high T_c cuprate superconductors and certain organic superconductors. Other current subjects include physics of Dirac electrons in bismuth, which has a long history but has newly acquired considerable interest because of strong spin-orbit interactions and the relations to topological insulators.

Tsuneyuki's group is interested in first-principles study of electronic and structural properties of materials and their surfaces, as well as development of new methods of first-principles simulation. Tsuneyuki himself works as a director of the Computational Materials Science Initiative, which is the major group of researchers in the field of condensed matter physics intensively utilizing the K Computer (the biggest computer in Japan).

Research activities and achievements of these four groups are among the highest not only in Japan but also in the world. These groups are frequently invited to major international conferences and have also been playing

important roles in various large scientific projects, supported by the Japan Society of Promotion of Science, the Japan Science and Technology Agency, etc. Their successful activities and achievements can also be seen from the fact that almost all of their former research associates or assistant professors have so far been promoted as associate professors at other universities or in other departments of Todai. Conversely, however, the historic role of the theory groups in training people who end up at the major institutions in condensed matter theory in Japan has become less prominent, due in part to the expanding diversity of areas in the condensed matter theory, which cannot certainly be covered only by the four groups.

Finally, we note the comments of the 2005 Review Committee that communication among different subgroups in condensed matter physics is very poor and that the visibility of the condensed matter group as a whole remains rather low. These situations are improving and mutual communication has become much better.

In comparison with other groups such as the particle physics and the cosmology and astrophysics groups, however, they still remain less satisfactory. Furthermore we encourage much greater outreach activity by the condensed matter group. Such outreach toward high school and undergraduate students serves very positively to attracting more able young people towards condensed matter physics.

3. Nuclear and Particle Physics

Nuclear Physics

Research in nuclear physics is carried out by two experimental groups, led by Professors H. Sakurai, and R. Hayano, and one theory group led by Professor T. Otsuka (a reduction from three and two, respectively, at the time of the last review).

Research is focused in two subfields. The first is nuclear structure physics under Otsuka and Sakurai, whose highlights include: understanding nuclear many-body systems utilizing forefront computational technologies, nuclear structure studies of nuclei far from the line of beta stability. The study of

nuclei far from stability, marked by a commendable interplay between theory and experiment at the Rare Isotope Beam Factory (RIBF) at Riken, is having a major impact on the nature of the shell structure of neutron and proton rich nuclei, an issue critical, e.g., in astrophysics for understanding nucleosynthesis and also the crusts of neutron stars.

The second area is the experimental study of fundamental symmetries, with helium atoms with antiprotons at CERN, and pionic atoms at GSI and RIKEN, led by Hayano. The unique antiprotonic helium experiments, international in scope, use precision optical laser spectroscopy of antiprotons in Rydberg atomic states to look for violations of CPT symmetry, and yield the world's most precise measurement of the ratio of the anti-proton to electron masses. The pionic atom experiments provide a new window into breaking of chiral symmetry in nuclear matter.

The level of the nuclear groups is outstanding by international standards and they are producing excellent science; the professors in these areas are leaders on the international stage. The Department also trains outstanding students who go on to have impact in these areas.

In the past, the Department excelled theoretically in the forefront area of hadronic physics, including quantum chromodynamic (QCD) many-body problems, e.g., deconfinement of quarks at high temperatures and densities, and chiral symmetry in nuclear matter, an area that is the focus of forefront experiment at RHIC, LHC, and elsewhere. Efforts to restore the Departmental presence in this area should have highest priority. At the same time the Department should encourage interactions between nuclear theory and related areas of cold atom physics and condensed matter physics.

The Department has the opportunity to continue its historic leadership role in the Japanese nuclear physics communities. In nuclear physics two major facilities are presently operating: RIBF at RIKEN and J-PARC at KEK/JAERI. The return of Sakurai to the Department strengthens the interaction of the Department with the RIBF. However there is only a small involvement, primary by Hayano, in J-PARC. It would be beneficial to the Department as well as J-PARC to strengthen the interactions of faculty and

students with J-PARC.

We note the outstanding outreach of the nuclear faculty in the Department after the Tohoku March 11 earthquakes, activities which were very useful to the public.

Elementary Particle Physics

The particle theory group consists of four units, two specializing in phenomenology and cosmology led by Professor T. Moroi and Associate Professor K. Hamaguchi, and two groups specializing in string theory and formal aspects of quantum field theory led by Associate Professors Y. Matsuo and Y. Tachikawa. Three out of these professors started their careers at the University of Tokyo recently.

The phenomenology group specializes in supersymmetric theories and their cosmological implications. Its work is well recognized in the world community. The work on gauge mediation is important in view of the recent experimental suggestion that the Higgs boson mass is around 126 GeV, a range which may be incorporated in this model. Their work, on the other hand, questions the compatibility of supersymmetric models with the suggested anomaly of experimental data on the anomalous magnetic moment of muon, and finds that many models are ruled out if one takes the experimental anomaly seriously. Two phenomenology groups have a healthy interaction amongst themselves, with two assistant professors collaborating well with senior members.

The formal theory group has laid down a fundamental framework for understanding the mathematical structure of the Lie 3-algebra related to the Nambu bracket. Tachikawa's work on the conjectured equivalence of two seemingly different quantum field theories in 4 and 2 space-time dimensions is very impressive and has spurred great interest even in the pure mathematics community. This is an exceptional achievement, although its physics impact is yet to be felt.

The committee encourages more interaction of faculty members both within the phenomenology and formal groups and their interaction as a whole.

The committee also encourages more visible outreach activities to communicate their research to the general public, and to junior high and high school students.

Considering the relatively young ages of the present faculty members, they remain here for a long time to come. The committee thinks that they will produce their best work, with hopefully the greatest impact, while they are in the Department.

The particle physics experimental group consists of Professors S. Komamiya and H. Aihara and Associate Professors S. Asai and M. Yokoyama; the latter joined the Department recently.

Komamiya is an important world leader on the International Linear Collider project. At the same time, he has initiated an interesting small-scale project on the effects of the earth's gravity on quantum mechanics using ultracold neutrons. This healthy attitude of mixing large-scale and small-scale experiments is important in educating graduate students.

Asai, who is visible on the world stage, is one of the important leaders of the Japanese participation in ATLAS. The recent achievement of the discovery of a Higgs-like boson at CERN is extremely important for the standard model and for models beyond. His handling of graduate students while they work abroad at CERN is quite impressive. In addition, his research on the lifetime of positronium has solved a long-outstanding puzzle; precision measurements of the hyperfine splitting in positronium are ongoing.

Aihara and his group, in the BELLE collaboration, have achieved precision determination of the parameters of tau lepton decay. His group is enlarging its horizon into the field of astro-particle physics, a step much to be encouraged. Yokoyama has been an important young leader in neutrino oscillation experiments, and is expected to be one of key persons in research and development for the hyper-Kamiokande experiment.

As a whole the research projects of the particle experiment group are impressive in scope, but at the same time they might be too widely dispersed for the size of the group.

We mention finally the presence of two related centers closely associated with the Department and the School of Science -- the Center for Nuclear Study (CNS), and the International Center for Elementary Particle Physics (ICEPP). While the research in these two Centers is beyond the scope of the present review, their activities provide a framework to strengthen related research in the Department. We note the contribution of the CNS to undergraduate education, using a cyclotron at RIKEN, which remains significant and excellent, and as well as note the activities of the ICEPP at ATLAS, the ILC, the small scale positronium experiment, and the collaboration with the PSI in Switzerland on lepton number violation, an important probe of physics beyond the standard model.

4. Cosmology and Astrophysics

Research in cosmology and astrophysics is carried out by four experimental groups and two theoretical groups within the Department, with close interaction with RESCEU (the Research Center for the Early Universe). The experimental groups are led by Professors K. Makishima, M. Minowa, K. Tsubono and S. Yamamoto, and the theory groups are led by Professors Y. Suto and N. Yoshida. In addition, Lecturer K. Nakazawa works with Makishima, and Professor J. Yokoyama and Associate Professor Shigeyama carry out theory research within RESCEU. Research of the cosmology and astrophysics group in the Department covers a very wide range and its results are noteworthy in the international community. The activity of RESCEU, directed by Makishima, is also remarkable. The cooperation between the cosmology and astrophysics group in the Department and RESCEU have been highly effective in research and education; our committee recommends that the staff of both continue their good cooperative work and develop it further in the future.

Suto, Yokoyama, Yoshida and Shigeyama are all the excellent theoretical researchers whose work is at high international level. A world research leader, Suto does theory for observational cosmology and for the extrasolar planets, currently a forefront field in the astronomy and astrophysics. Recently his group developed the leading theory for transit phenomena and remote sensing of the extrasolar planets. His contributions include the

hosting of international conferences.

Yoshida carries out major supercomputer simulations of the first generation star formation processes in the early universe, including cooling processes and radiation transfer; he is world-famous for this research, and is a young hope in Japan in theoretical astrophysics.

The outstanding research of the group of Yokoyama of RESCEU includes theories of the universe at the time of inflation, and the early universe; the theoretical description takes into account observations of the cosmic microwave background and as well will include gravitational wave observation, as expected in the future. These studies are important for leading to direct verification of the description of the "inflation universe." Shigeyama carries out research on the origin of Type Ia supernovae. His work is expected to settle questions of competing theories of their origin.

Observational and experimental studies in astrophysics and cosmology are similarly excellent. Yamamoto's group is studying the chemical evolution of the interstellar cloud and also developing a receiver for terahertz band radiation. Their discovery of carbon-rich chain molecules is very important, because they are outstanding probes of chemical evolution from the interstellar gas to the protoplanetary disk. The experiences and results of the group so far auger well for their development of a high-precision receiver in the terahertz radio band, the last window in astronomy to be opened.

Minowa's group has accomplished an impressive improvement of axion searches carried out in a small-scale laboratory. His group is now developing his idea for a Plastic Anti-Neutrino Detector Array to monitor nuclear reactors. This is an effort with potentially important impact, and a significant societal contribution, whose funding should be supported.

The group of Makishima and Nakazawa forms an ideal model of balance of two different aspects of experiment: detector fabrication (hardware) and physics analysis (software). The results of their research on magnetized neutron stars, magnetars, and black holes using the X-ray satellite SUZAKU are outstanding and important, and one expects new results from their research in connection with next X-ray mission, Astro-H.

Tsubono has been active in the development of the ongoing gravitational wave detector KAGRA, which with LIGO in the U.S. and VIRGO in Europe, is expected to detect gravitational radiation in the near future. In view of this promise, we encourage Tsubono to concentrate primarily on the ongoing KAGRA project, with work on the DECIGO project only secondarily.

As a whole, the scientific activities in cosmology and astrophysics are excellent. The cooperation between theoreticians and observational as well as experimental physics is quite successful. Similarly, cooperation between the Department and RESCEU has been effective and should be promoted further.

教室全体について

1. 教育について

カリキュラム

学部および大学院のカリキュラムはおおむね全分野をカバーしており、十分であるように見える。しかしながら、本委員会としては、物理教育の進化に従って、カリキュラムは常に見直され改善されることが望ましいと考えている。学生が進路の選択をする前に、コアとなる授業の内容をしっかりと理解していなければならない。そのための一つの方法として、基本コア授業は一度だけでなく何度か繰り返すようにしてはどうだろうか；最初の講義は基礎的なレベルで、その後、さまざまなレベルの発展的な講義とする。基礎レベルの講義は学部において行い、発展レベルの講義は大学院修士課程で行う。このコア講義は、流体力学を含む古典力学、量子力学、光学を含む古典電磁気学、そして古典および量子統計力学である。それらコア講義では、基本的な原理と技法に関する事項を中心に教えることとし、さまざまな専門分野への応用は基本的な原理を例示するために必要なものに留めるべきである。物理学の特定の専門分野、たとえば物性、原子核、素粒子、プラズマ、生物物理など、に焦点を絞った発展的講義は、教育課程のなかの適切な段階において提供されるべきである。

大学院の講義のうち、基礎的な講義は大学院生とともに学部4年生にも共通講義として開講されている。これは、東京大学と他大学で教えられている講義内容の差、つまり、東大内部からの大学院進学者と他大学からの大学院進学者との間のギャップを埋める良いやり方といえる。

本委員会は、多様な講義が開講されているが、学生は卒業に必要な単位を取るためだけに講義を受講している傾向があるのではないかと懸念している。学生は、自分の視野を広げるために様々な講義を受講すべきことを強調しておく。そのような学生の視野を広げることこそカリキュラム改善の主眼とすべきである。

教員と学生との交流

学生と教員との科学に関する交流は、授業から研究にいたる学生の教育のあらゆる機会においてもっと促進させることを勧める。改善が必要な例を挙げると、物理学教室の外で研究をしているある大学院生が、指導教員との研究に関するコミュニケーションが欠如していることを指摘した。さらに、本委員会と学生との懇談のなかで、学生たちは授業中に質問をすることを躊躇していると述べた。なぜ躊躇するのか、その一つの理由は、学生たちは授業中に質問をすることで授業の進行を妨げたくないと考えているからである。すべての先生方は学生が質問をしてくれることを歓迎していると信じているが、このような学生の誤解が生じていることは残念である。先生方にも学生の側にも、授業中に相互にやりとりするような雰囲気を作るために努力することを望む。

国際化

本委員会は、物理学教室が国際化のためにすでに多大な努力をしていることを評価している。多数の学生が、組織的若手海外派遣事業によって海外渡航を経験している。しかし、国際会議やスクールなどに参加するためには短期渡航となることは理解できるが、他の目的の渡航の場合には滞在期間が短すぎて効果が上がっているのか検証する必要があると感じている。

現在、大学院の講義において、教室に1名以上の外国人学生がいる場合に限って講義が英語で行われることになっている。本委員会は、大学院のすべての講義を英語で行う可能性を真剣に検討することを勧める。そうすれば、物理学教室の国際化に寄与するだけでなく、学生が英語でものを考え表現する能力を開発する訓練にもなるだろう。

現在の外国人学生の受け入れ状況は不十分である。外国人学生をリクルートする努力は物理学教室の将来にとって不可欠であり決定的に重要である。なぜなら、外国人学生は、将来、研究者の国際的ネットワーク形成の種となるからであり、物理学教室はそれをしっかり認識すべきである。

その他

本委員会では修士課程と博士課程の関係を議論した。現在の大学院の前期・後期課程制では、これら二つの課程は連続的に接続されていないのは明らかである。博士号を取ろうとする学生にとって、現在では義務となっている修士論文の提出は、彼らの研究経歴のなかで必ずしも重要ではないのではないかと考えられる。それに代わって、博士論文の研究を始めるための資格審査を課すという形が考えられる。5年一貫制をとればもっと柔軟な枠組みを作ることができるだろう。

前回(2005年)の外部評価報告では、学部学生が大学院入学試験の時点で、自分の研究分野を決めてしまうことが問題であることを指摘した。物理学教室は、現在もこのやり方を変えていないものの、大学院入試のガイダンスや4年生の特別実験・理論演習配属時の各研究室ガイダンスを通じて、学生が専門分野を選ぶ準備をすることができるようにしている。本委員会は、たとえば、各研究グループのホームページを改善するなどして、学生に情報を提供するさらなる努力をすることを望む。この件に関する本委員会の懸念は、学生がキャンパスに来る前に、あるいは長い目でみて自分に一番合っている研究分野を見つけ出す機会を与えないまま各研究室に配属されているのではないかということである。さらにいえば、学生は大学院にいったん入学してしまうと、研究分野を変更したり、他の分野の研究をすることさえ許されていないのではないかという懸念である。本委員会は、このような状況および前述した学生の講義に対する態度によって非常に狭い視野しか持たない学生が育つのではないかと心配している。この観点から、本委員会は、ALPSリーディング大学院プログラムが開始されたことは好ましいことで、正しい方向に教育がなされるものと期待している。

本委員会は、多数の学部3年生が参加して5月祭の展示準備がなされていることに感心した。最先端科学からテーマを選び、自らそれを勉強して展示を行うのは非常に良い伝統である。

学生による授業評価は、それを適切に利用されるのであれば役に立つことである。しかしながら、学部および大学院生の親に対するアンケートは不要と考えるし、むしろ、それは学生の自立を促すのを妨げることにさえなると考える。

2. 研究及び人事方針について

本委員会の理解するところでは、研究ユニットが2人の教員、つまり、一人の教授あるいは准教授と、もう一人の比較的若い助教からなっており、このルールは厳格に守られている。この方針によってもたらされうる悪い効果として、異なるユニット間の交流が非常に抑制されることになるのではないか。このような交流はこれまで全くなかったわけではないが、本委員会は、研究ユニットの作り方をもっとフレキシブルにすることを勧める。たとえば、高エネルギー物理の分野ではもっと大きなグループでの活動がより効果的であり、他の大学では実際そうしている。

さらに、現在のシステムでは、特に実験分野において、若い教員が独立に新しい研究プログラムを立ち上げる際にフレキシビリティに支障を生じている。このような措置が重要である例として、冷却原子の分野がある。そこでは、比較的若い研究者が国際的な場で重要でかつ独立して研究を推進している役割を果たしている。

教室会議で定期的に行われているランチトークは、物理学教室の研究活動全体に関して相互交流を進める上で有効であり、さらに進めて行くべきである。さらに、このような研究交流をより小さなユニットで行うことを推奨したい。このような集まりによって、実験・理論間も含めて、異なるグループ間の研究協力の機会が生まれるだろう。

前回の評価でも言及したが、公募のシステムを堅持しようとする准教授の昇進人事において困難に直面する。この問題は、公募制を厳格に採用している組織では、多かれ少なかれ存在するが、本委員会では、この問題は物理学教室では深刻な問題と理解する。この問題に関しては、継続的に検討していく必要がある。

助教の採用は、現在行われているように関連教員の分野に限定せず、物理学教室全体で将来において教室が取るべき方向に基づいて行われるべきである。また、実験においては、助教が独立な研究室を立ち上げるために必要な、面積、経費を支援すべきである。

本委員会は、外国人教員を国際的な広報活動と個人レベルでの接触によってより積極的に進めることを勧める。

女性教員はほとんどいないに等しい。物理学教室は女性教員、女子学生の数を増やす明確な戦略を推進すべきである。

もう一つの懸念は、東大の物理学教室は、生え抜きの教員が多いことである。このようなパターンは新しい分野での新規発想の流れを阻害しかねない。このような傾向は、学生にも現れており、多くの大学院生は東大の学部出身者で占められている。

3. 教室運営について

現在のシステムは、将来的に重要になる分野に迅速に対応していくようになっておらず、ゆっくりとした変化のみを許している。(これまでの評価委員会以降に 2 人の量子情報理論の教員を採用したことは、例外的な成功例である。)いろいろな分野間で交流を深め、長期計画に基づいて物理学教室の進むべき方向を考えていくべきである。

基本的な予算形態は前回の評価の時と変わっていない。しかし、運営費は次第に減少している。研究に関する主要な財源は外部からの資金である。競争的資金への依存の増大は、教室メンバーが予算獲得のためのペーパーワークに多くの時間を割かなくてはならない状況を作り出しており、教室の研究上の成果達成に好ましくない効果を生み出している恐れがある。このような教室メンバーの負担になっている管理業務を緩和するための要員を雇用することも考慮すべきである。

大学間、研究所間のグローバルな競争はますます激しくなっており、物理学教室はその世界的な地位をたゆまぬ努力で維持し続けなければならない。そのために、教室の活動の質、競争力、効果性、進展性などを、継続的に評価していく方法の導入を考えることが望ましい。

現在の床面積は公的に認められている広さの 65%に過ぎない。せめて、100%になるまで床面積の拡大を進めるべきである。このような拡張によって新しい研究スペースを獲得する際の軋轢を緩和できるだろう。面積拡張のもう一つの利点は学部生に、カリキュラムに組み込まれたセミナーや講義以外に、ブレインストーミングやディベートなど自発的な共同学習を始める機会を与えることである。現在の限られたスペースではこのような自発的な集まりが実現されていない。

本委員会は東大が全体として身体的な障害を持つ学生受け入れに多大な努力をしてきていることと認識している。物理学教室でも彼らの学習のための最大限の努力を続けて行くべきである。

物理学教室は研究活動やその成果、さらにはいくつかの広域的なプロジェクトにおけるリーダーシップにおいて卓越性を発揮しているが、より広く一般社会、産業界、他のコミュニティから認識、評価されるように強く努力していくべきである。そのため、物理学教室はその価値が認められるように、わかりやすく説明、紹介するようなコミュニケー

ションを心がけるべきである。このようなコミュニケーションは政府や産業界、社会からの支援拡大への重要なステップである。

最後に、本委員会は物理学教室が、たとえ従来の分野の縮小を伴っても、新しい物理分野の発展、展開に柔軟に対応していくことを推奨する。このような努力は東大物理学教室が、現在のリーダーシップと卓越性を将来にわたって維持するために重要であると考えている。

個別研究分野について

1. 一般物理学および生物物理学

一般物理学

一般物理学は、物性物理、素粒子物理、原子核物理、天体物理以外の分野を広くカバーする分野であり、上田教授と村尾准教授の2つの理論グループと五神教授、高瀬教授、佐野教授、酒井准教授からなる4つの実験グループからなる。

上田教授は冷却気体と情報熱力学の基礎的な側面を研究している。彼のボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) の動的性質に関する研究では、Cr の BEC の d 波崩壊、スピン 2BEC のサイクリック相、非可換渦などを扱っている。彼はトポロジカルな励起の対称性の分類方法と結び目励起の予言を行った。情報熱力学に関しては、フィードバック制御の方法を用いると、通常の熱力学第二法則を越えてどれだけ多くの仕事を取り出せるかという問題に答えた。彼のグループは、情報の観測と消去にかかる最小のエネルギーを求め、さらに、一般化された Jarzynski 方程式を導いている。彼らはその関係を実験的にも検証している。上田教授は、理論家でありながら ERATO プロジェクトでの実験研究に対する指導力はすばらしいものである。

五神教授はバルク Cu_2O 結晶において 1s パラエキシトンの励起子 BEC を生成、観測を行って来ている。サブケルビン温度領域において理想ボース系で予言された臨界密度での凝縮の閾値的な増大の証拠の観測を一步ずつ進めている。励起子 BEC は、開放、散逸環境での凝縮の性質を考えていく上で重要な系である。五神グループが ^3He - ^4He 希釈冷凍器を用いた冷却系を完成すると、励起子 BEC の量子流体としての性質の研究が現実的な研究のターゲットとなるであろう。彼は、東大内外の先端フォトンニクスの研究プログラムのリーダーである。彼の先端フォトン科学技術を基礎研究に導入しようとする努力は高く評価できる。

上田、五神教授は理論的、実験的 BEC 関連の物理において協力して研究を進めている。そのリーダーシップは、物理学教室のみならず、ひろく原子、分子、光学 (AMO) やフォトンニクスの研究分野に及ぶ。彼らの研究活動は研究が激しい世界でトップレベルのものである。

村尾准教授は、量子力学的状態で記述される量子情報を用いて、情報処理の原理的限界に挑んできた。彼女は、対称性のある系において多くの距離的エンタングルメント測度が幾何学的エンタングルメント測度と一致することを証明した。また、局所操作とエンタングルメント資源を用いて制御ユニタリ演算を行うために必要な最小のエンタングルメント量を発見した。さらに、権限があるユーザーのみが量子計算を行うことができるような公開量子暗号プロトコルの提案を行った他、多ユーザー間で量子計算を行うための量子ネットワーク符号化にも挑戦している。量子物理学と情報通信技術の組み

合わせは、彼女の研究におけるユニークな国際的環境の創出とともに、学生や研究者たちにとって非常に魅力的となっている。

酒井准教授は、分子内電子の超高速立体ダイナミクスを探究するために、分子配向技術を発展させてきた。彼は、高次高調波発生における分子の再結合過程での電子のド・ブロイ波の量子干渉を発見した。分子配向技術開発の初期段階において、この仕事は先駆的な仕事となった。また、高強度レーザー光を急峻に遮断することにより、レーザー場の存在しない状況下で分子の配向制御に成功するとともに、高強度非共鳴2色レーザー場を用いることによって、断熱的な領域におけるOCS分子の全光学的な分子配向制御にも成功した。これらの分子配向制御技術および関連する物理学への重点的成果は、今後、原子分子光学(AMO)物理の他の領域への応用が期待されるとともに、それらの拡張が促進されることも期待される。

佐野教授は、これまで理論的な予言しか行われてこなかった、いくつもの非平衡物理学における普遍的な物理的法則の有効性を、見事な実験によって証明してきた。佐野研究室、上田研究室、生物物理学の樋口研究室の合同セミナーから生まれた、世界初のシラード型のマクスウェルの悪魔のデモンストレーションは、物理学教室の異なる分野の研究室間で行われた共同研究の実りある成果の一例でもある。研究室の他の成果としては、コロイド粒子のレーザー誘起による自己推進などの、新しいタイプの非平衡的振る舞いの実験的実現が挙げられる。

高瀬教授は、核融合のためのプラズマ物理学実験のパイオニアであり、柏キャンパスに設置されたコンパクト球状トカマク装置であるTST-2とUTSTを用いて、高いベータ(プラズマ気体の圧力と磁場圧力の比)におけるプラズマの研究を重点的に行ってきた。彼の研究室の数多くの研究成果の一つとして、TST-2において、電子バーンシュタイン波を通じたエネルギー注入によって、STプラズマの高出力加熱を世界で初めて実験的に実現したことが挙げられる。また高瀬教授は、Japan Torus (JT-60U)における先端トカマクプラズマ研究プロジェクトに関しても貢献している。彼の研究は、高いベータ値を持つコンパクトな核融合炉の開発に重要である。

通常用いられるような主な分野に加えて、「一般物理」という名の下に多岐にわたる物理研究を統合した分野を設立するという、物理学教室の方針は価値のある方針である。この伝統によって、例えば、従来は相関のなかった分野間に予想外の相互的なつながりが見つかることや、これまで物理ではあまり注目を浴びていなかった分野の画期的な概念の発見などによって、思いがけない物理学の潮流の変化に備えることが可能となる。ただし、このように高いポテンシャルを持つ多岐にわたる統合分野を分類する名称として、「一般物理」という言葉を用いることについては、評価委員の間でも疑問の声が挙がった。

生物物理学

生物物理学の研究室は、樋口教授と能瀬教授の研究室からなり、能瀬教授は新領域研究科にも所属している。樋口教授は、独自の技術を用いることで、試験管内および体内におけるタンパク質分子の単一モーターの実時間計測に成功しており、能瀬教

授は、動物の神経活動の測定と制御によって、ぜん動運動と関連する神経回路の動作原理を解明しようとしている。

これら二つの研究室での研究は、いずれも生命活動の動的な側面に焦点を当てたものであり、生物学と非平衡物理学との架け橋としての役割を高く賞賛する。

2005年の外部評価報告書では、物理学教室における生物物理学のプレゼンスを高め、成長させるための詳細な事例が挙げられていた。我々は、この報告書における報告と提言を再度述べ、物理学教室が生物物理学を物理の重要な一分野として捉えていることに満足している。これらの二つの研究室は、生物物理学における活動の将来的な発展に欠くことができない中核を成すものである。

2. 物性物理学

物性物理学は12のグループ、すなわち、内田、藤森、高木、福山、長谷川教授、岡本、島野准教授、谷口講師による8つの実験グループと、青木、宮下、小形、常行教授による4つの理論グループから成る。

以下の5つのグループは広い意味での強相間電子系の研究を進めている。

内田教授は銅酸化物、鉄プニクタイト、カルコゲナイドなど高温超伝導体に重点をおいている。彼は、韓国、シンガポール、中国、米国などと Global-COE を通して強い共同研究を続けている。

藤森教授は、角度分解光電子分光法 (ARPES) を用いて強相間電子系 (高温超伝導体、スピントロニクス材料、磁性体) を幅広く研究している。彼の特記すべき貢献はアンダードープ銅酸化物でのフェルミアークと擬ギャップの観測である。彼のグループは KEK のフォトンファクトリーで新しい ARPES ビームラインを建設してきた。

高木教授は遷移金属化合物中の相関電子が形成する様々な電子相の研究を推進している。特に幾何学的フラストレーション系の量子スピン液体状態や 5d 系のスピン軌道結合誘起相、などがその対象である。

谷口講師は、最近カイラルスピン秩序による強誘電性状態の確立や MnWO_4 におけるスピンカイラリティの制御による巨大磁気電気効果の発見をしている。

島野准教授はテラヘルツ分光法を用いて半導体から強相関電子系に至る広い研究分野をカバーしている。彼の特筆すべき業績は、可視光やテラヘルツパルスによる物性の超高速光制御の達成である。

以下の3名の教員は、主に界面や広い意味での固体表面の電子的性質などを研究している。

福山教授は量子液体や固体(2次元 ^3He や ^4He)や擬2次元電子系(グラファイト表面やグラフェン)に焦点をあて研究を進めている。最近、彼のグループは理論的に知られていない2次元の ^3He の新しい液体基底状態を発見している。

長谷川教授は電子回折、走査トンネル顕微鏡、光電子分光法などによって表面状態の研究を進めている。最近、彼のグループはシリコン(111)面に吸着したインジウムの超伝導を発見した。また、輸送現象の4点プローブ法や4チップの走査型トンネル顕微鏡など新しい技術の開発を行っている。

岡本准教授は劈開半導体表面での二次元電子系、強相関二次元電子系、量子ホール領域での非平衡電子に焦点を合わせて研究を進めている。最近、彼のグループは、劈開 GaAs (半導体)上の鉛の単分子膜での超伝導を発見した。

論文発表や、主要な国際会議での招待講演、いろいろな大きな研究プロジェクトでのリーダーシップなどの研究活動から、これら実験グループが優れた研究活動を続けており、世界標準でトップレベルにあるといえる。

4つの物性理論グループは、互いにあまり重複や競合なしに、従来のからの固体物理学や統計力学の広い範囲で研究を進めている。これらのグループによって進められている主要な課題は以下のものである。

青木グループは、高温超伝導体やイオン伝導体、分子伝導体、さらにはグラフェンの非平衡やトポロジカルな性質などホットなトピックスを扱っている。その研究活動はいろいろな国の共同研究者を含んで進められている。

宮下グループは、世界に展開した共同研究によって、新しいタイプの相転移、臨界現象、非平衡統計力学、複雑系など統計力学の基礎的な最先端のトピックを中心に、研究を進めている。

小形グループは、変分モンテカルロ法など多体物理学の方法を用いて、モット転移やキャリアドーピング効果、銅酸化物高温超伝導、有機超伝導に関する物理を研究している。その他、長い歴史を持ち最近スピン軌道相互作用やトポロジカル絶縁体との関係において非常に興味を持たれているビスマスのディラック電子の物理に関しても最近研究を進めている。

常行グループは、物質やその表面の電子的・構造的な性質の第一原理的研究を進め、新しい第一原理的シミュレーション手法の開発なども行っている。常行教授は、物性分野で京コンピュータ(日本最大のコンピュータ)を集中的に利用する主要研究グループである計算物質科学イニシアティブ(CMSI)の代表を努めている。

これら4つのグループの研究活動は日本のみならず世界的にも最高レベルである。これらのグループは多くの主要な国際会議を招致し、また JSPS や JST などの主要な研究プロジェクトで重要な役割を果たしている。その活動がうまくいっていることは、多くの助教が他の大学の准教授として転出していることから見て取れる。しかしながら、日本の物性物理学の主要研究機関への人材供給源としての歴史的な役割は減じている。これは、物性物理学がこれら4グループでカバーしきれないほど多様化したことも一因と考えられる。

最後に、2005年の評価委員会で指摘した、個々の物性物理グループ間の相互交流は非常に弱く、物性物理全体としての注目度が低いとのコメントに言及しておく。これらの状況は改善され、相互交流もずっとよくなってきている。しかしながら素粒子グループ、天文・宇宙グループなど他のグループと比べるとまだ満足できる状態ではない。また、物性物理グループがもっとアウトリーチ活動を行うことを進めたい。高校や学部学生へのアウトリーチ活動は若い人たちをより積極的に物性物理へ誘引するであろう。

3. 原子核物理学および素粒子物理学

原子核物理学

原子核物理学に関する研究は、櫻井、早野両教授率いる二つの実験グループと大塚教授の理論グループにより推進されている(前回のレビュー時の陣容、実験3教員、理論2教員と比べ、スタッフ数が減少)

研究活動は二つの分野に集約されている。一つは、大塚教授、櫻井教授による核構造物理分野であり、彼らのハイライトとしては、最先端コンピュータテクノロジーを利用した核子多体系の理解、ベータ安定線から遠く離れた原子核の核構造研究、などである。安定線から遠く離れた原子核の研究は、理研の RI ビームファクトリー(RIBF)での理論と実験との特筆すべきインタープレイに特徴があり、中性子過剰および陽子過剰な核の殻構造の性質に関する研究において大きなインパクトを与え、天体物理学での元素合成や中性子星の外殻研究にも大きな影響を与えている。

二つ目の研究分野は、早野グループにより推進されている分野で、CERNでの反陽子ヘリウム原子、GSI や理研での π 中間子原子を利用した、基本対称性の実験的研究である。反陽子ヘリウム原子実験は国際的にみてもユニークな実験であり、Rydberg 原子状態の精密な光学レーザー分光を通して、CPT 対称性の破れを探索している。また、この実験で得られた反陽子・電子の質量比は世界最高の精密値である。 π 中間子原子実験は、核物質のカイラル対称性の破れに関連した新しい窓を与えている。

原子核グループのレベルは国際標準で傑出しており、彼らは卓越したサイエンスを創出している。これらの分野の教授達は、国際舞台でのリーダーである。物理学教室で

は、これらの分野で活躍する優れた学生を教育している。

過去、物理学教室は、ハドロン物理学の最前線での理論研究において抜きんでおり、量子色力学(QCD)の多体問題、たとえば、高温・高密度でのクォークの非閉じ込め、核物質中でのカイラル対称性、RHIC や LHC などでの最先端実験に関連した研究が進められていた。この研究分野での物理学教室の存在感を復活させることは最重要課題である。同時に、物理学教室は、原子核理論と冷却原子物理、物性物理の関連分野とのコミュニケーションを促進すべきである。

物理学教室は、伝統的に日本の核物理コミュニティの先導的な役割を担っている。原子核物理学の分野では、理研の RIBF、KEK/原研の J-PARC といった二つの大型施設が稼働している。櫻井教授が教室に戻ったことで、RIBF と教室との関係が強化されている。しかし、J-PARC については、早野教授による関与があるものの、その関与は小さい。教員、学生と J-PARC との関係が強化されれば、教室にとってもまた J-PARC にとっても有益であろう。

3.11 の東日本大震災後、物理学教室の原子核物理学教員がアウトリーチ活動をしていることは特筆すべきであり、この活動は一般市民にとって非常に有意義であった。

素粒子物理学

素粒子理論のグループは 4 研究室より構成されている。そのうち 2 つは現象論と宇宙論を専門とし諸井教授と濱口准教授により率いられている。他の 2 つはストリング理論と場の量子論の基礎研究を専門とし松尾准教授と立川准教授により率いられている。これらの教員中 3 名は最近東京大学に着任した。

現象論のグループは超対称性理論とその宇宙論的な応用を専門としており、その仕事は世界的によく認知されている。ゲージ・メディエーションに関連する仕事は、最近発見された Higgs 粒子の約 126GeV の質量を説明できる可能性があることを考えると重要である。また一方で、彼らの仕事は、ミュオン異常磁気能率に関する最近の実験結果が示唆する不整合性が超対称モデルと共立することについて問いかけており、実験結果を真面目にとらえると多くのモデルが排除されることを見出した。二つの現象論グループは互いに健全な交流を持っており、2 名の助教もシニアスタッフとよく協力している。

基礎理論のグループは南部括弧式に関連する Lie3-代数の数学的な構造を場の量子論の基本的な枠組みの中に取り込んだ。また、4 次元と 2 次元の一見相異なる場の量子論の間の同等性についての立川准教授の予想は非常に印象的なものであり、純粋数学のコミュニティの中にも大きな関心を引き起こしている。物理学へのインパクトはまだ感じられないもののこれはたぐいまれな成果である。

本委員会は現象論グループと基礎理論グループの各グループ内だけでなくグループ全体のコミュニケーションを高めることを勧める。また、一般人や中学生・高校生などへ

の研究の紹介活動をより見える形で努力することを勧める。

現在の教員は比較的若いいため長期間東大に在籍することになる。本委員会は、彼らが物理学教室に在籍する間に、彼らが、望むらくは大きなインパクトを持つ最大限の業績を挙げてくれると考えている。

素粒子実験のグループは駒宮教授、相原教授、浅井准教授、横山准教授のグループにより構成されている。あとの2名は最近教室に加わった。

駒宮教授は国際線形加速器計画の重要な国際的リーダーである。それと同時に超冷却中性子を用いた地球重力の量子力学への効果について興味深い小規模な研究を始めた。このように大規模な実験と小規模なものを取り混ぜて行うことは大学院生を教育するうえで重要であり健全である。

浅井准教授は世界的に認知されおり、日本のATLASへの参加において重要なリーダーの一人である。CERNにおける最近のHiggs粒子と思われるボソンの発見は標準模型とそれを越える模型において非常に重要なものである。研究室の学生のCERNにおける活動に対する指導は非常に素晴らしい。さらに、ポジトロニウムの寿命についての研究は長い間の謎を解決した。ポジトロニウムの超微細構造の精密測定の実験が現在も進められている。

相原教授とそのグループはBELLE共同研究においてタウレプトンの崩壊パラメータの精密測定を成し遂げた。彼のグループはその研究分野を宇宙素粒子物理学の領域にまで広げようとしているが、このステップは大いに推奨するものである。

横山准教授はニュートリノ振動実験に関する重要な若いリーダーでありhyper-Kamiokande実験の研究と開発において鍵となる人物の一人となることが期待されている。

全体として素粒子実験の研究プロジェクトはその研究範囲の広さが素晴らしいが、同時にグループの大きさに対して手を広げすぎているようにも見える。

最後に物理学教室と理学部に関連が深い二つのセンター、原子核科学研究センター(CNS)と素粒子物理国際研究センター(ICEPP)、の存在について述べる。これら二つのセンターにおける研究は本委員会のレビューの範疇からはずれるものの、その活動は物理学教室における関連する研究を強化する枠組みを与えている。理研のサイクロトロンを活用することにより、CNSは学部学生の教育に重要で素晴らしい貢献を行っている。また、ICEPPのATLASやILCにおける活動、小規模なポジトロニウムの実験、スイスのPSIとのレプトン数の破れに関する共同研究などは標準模型を超える物理学の重要な検証である。

4. 宇宙論・宇宙物理学

宇宙論・宇宙物理学の研究は、物理学教室の4つの実験研究室と2つの理論研究室で行われており、いずれもビッグバン宇宙国際研究センター (RESCEU) と密接に協力しながらすすめられている。実験研究室は牧島、蓑輪、坪野、山本の4教授、理論研究室は須藤、吉田の2教授が主宰している。中沢講師は牧島グループと連携して研究をしており、RESCEU では横山(順一)教授、茂山准教授が理論研究を行っている。物理学教室における宇宙論・宇宙物理学研究対象は多岐にわたっており、国際的に重要な成果をあげている。牧島教授がセンター長をつとめている RESCEU の活動もまた優れている。物理学教室と RESCEU の協力は研究と教育の両面において大きな成果をあげている。本委員会はこの協力関係が今後も継続しさらに発展する事を期待する。

須藤教授、横山教授、吉田教授、茂山准教授はいずれも優れた研究者で国際的にも高いレベルの研究を行っている。世界的な研究指導者の一人である須藤教授は、天文学と宇宙物理学の最前線とも言うべき観測的宇宙論と太陽系外惑星の理論研究を行っている。特に最近、系外惑星トランジット現象とリモートセンシングに関する重要な理論を提案した。また数多くの国際会議を主催している。

吉田教授は、冷却仮定と輻射輸送を考慮した初期宇宙における第一世代天体形成の大規模シミュレーションをおこなっている。彼の研究は国際的にも評価が高く、日本の理論宇宙物理学における若手の第一人者である。

RESCEU の横山グループは、初期宇宙、特にインフレーション時の理論モデルに大きな貢献をしている。特に宇宙マイクロ波背景放射と将来検出されるであろう重力波の観測データを考慮しており、インフレーション宇宙モデルの直接検証を主導する上で本質的な研究である。茂山准教授は、Ia 型超新星の起源を研究しており、いくつかの対立するモデルを峻別する上で重要な貢献を行っている。

宇宙論・宇宙物理の実験および観測研究も同様に優れた成果を出している。山本研究室では、星間雲の化学進化を研究しており、またテラヘルツ帯の検出器を開発中である。彼らが発見した一連の炭素鎖分子は星間ガスから原始惑星系円盤への進化を探るための重要な観測的対象である。山本研のこれまでの実績と成果により、天文学に残された未開拓の観測帯ともいえるテラヘルツ帯での高感度受信機の開発が進んでいる。

蓑輪グループは小規模な実験室でありながらアクシオン探索においてすばらしい感度向上を成し遂げた。彼らはさらに原子炉をモニターするプラスチック反ニュートリノ検出器アレイを開発中である。これは潜在的に大きなインパクトをもちうるものであり、社会的な意義も高いため、その資金獲得を支持すべきである。

牧島・中沢グループは、検出器の開発(ハードウェア)と物理的データ解析(ソフトウェア)という、実験物理学における2つの異なる側面で、理想的なバランスを保った研究を行っている。すざく衛星を用いた、強磁場中性子星であるマグネター、及びブラックホールの研究は特筆すべき重要度をもつ。次期 X 線衛星 Astro-H によって更なる新たな発展が期待できる。

坪野教授は現在建設が進められている重力波検出器 KAGRA の開発において重要な貢献を行って来た。KAGRA は米国の LIGO、ヨーロッパの VIRGO と並んで、近い将来重力波の直接検出に成功するものと期待されている。そのため、東京大学における重力波グループには、まずこの KAGRA 計画を最優先として取り組み、さらにその先のスペース計画である DECIGO には二次的な貢献をするにとどまるべきだと考える。

全体として、宇宙論・宇宙物理学分野の活動はすばらしい。理論と観測、さらには実験グループの間の協力は成功を収めている。同様に、物理学教室と RESCEU の協力体制も効果的であり、さらに推進すべきである。